

В статье рассматривается применение метода линейного программирования для оптимизации статического графа электрической сети.

УДК 621.311

П.П.Рожков, канд.техн.наук

Т.В. Полякова

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ КОНФИГУРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Введение

В настоящее время энергетический комплекс Украины находится на пороге структурных изменений, в результате которых электрическая энергия займёт ведущее место не только в промышленности, но и в коммунально-бытовой сфере. Существенное увеличение потребляемой мощности потребует не только реконструкции имеющихся электрических сетей, но и строительства новых. Реализация этих планов должна опираться на современные научные исследования в области проектирования и строительства сетей.

Анализ последних исследований и публикаций

Развитие и текущее функционирование энергосистем, как и любых других больших систем, преследует выполнение большого числа самых разнообразных целей. Энергосистема должна быть экономичной, обеспечивать полное и надежное снабжение потребителей электроэнергией и не должна вредно влиять на окружающую среду. К этим важнейшим, глобальным целям добавляется еще множество других, большей частью локальных целей.

При наличии многих, да еще и противоречивых целей, а также различных типов исходной информации о системе могут появиться различные альтернативы решения. Естественно, что среди возможных альтернатив желательно выбрать наилучшую в определенном смысле, или как принято говорить, найти оптимальное решение задачи.

Следует отметить значительный вклад в решение задач оптимизации в электроэнергетике таких ученых как Веников В.А., Беляев Л.С., Арзамасцев Д.А., которые решили ряд важнейших задач оптимизации режимов электрических сетей, перетоков мощности, структуры и размещения генерирующих мощностей.

В подавляющем большинстве случаев существующие методы многоцелевой оптимизации не позволяют решить подобные задачи и поэтому задачи упрощают, сводя их к одноцелевым. Делают это следующим образом. Среди всех целей выделяют одну, которую считают главной, доминирующей. Все остальные цели заменяются некоторыми минимально необходимыми требованиями (ограничениями), выполнение которых считается во всех случаях обязательным. Например, при отыскании плана развития системы, т.е. определении состава, параметров и очередности ввода новых объектов (электростанций, линий электропередачи и др.) главной целью считают экономичность. Но при этом выбирается такой самый экономичный план, который удовлетворяет обязательным требованиям (нормативам) надежности электроснабжения, качества электроэнергии, охраны окружающей среды.

Задача формулируется следующим образом: найти условный минимум (или максимум, что зависит от характера задачи) целевой функции при выбранных ограничениях. После того как сформулирована задача и записана целевая функция, уравнения

связи между параметрами и ограничения, определяющие допустимую область решений, привлекают соответствующий метод для отыскания оптимального решения.

Современные исследования развернулись главным образом, в двух направлениях:

- разработка целевой функции все более сложного вида, с целью учета нелинейных зависимостей;

- формализация ограничений отражающих все большее многообразие процессов сопровождающих производство, передачу и распределение электрической энергии.

Цель статьи

Задача оптимизации сети представляет собой часть общей задачи оптимизации структуры энергосистемы. В наиболее широкой постановке задача оптимизации развития электрической сети состоит в определении на интервале Т наилучшей стратегии, обеспечивающей технические требования к электроснабжению потребителей и функционированию сети и доставляющей минимум приведенным затратам на всем плановом периоде.

Среди мероприятий, которые могут быть приняты во внимание при формировании оптимальной стратегии развития сети, назовем следующие:

- строительство новых линий для электроснабжения новых узлов нагрузки;
- усиление существующей сети за счет увеличения сечений отдельных участков, строительства новых параллельных линий, подвески вторых цепей на существующие опоры;
- сооружение новых подстанций в каких-либо узлах;
- усиление существующих подстанций за счет увеличения установленной мощности трансформаторов или включения дополнительных вводов на существующем или повышенном напряжении.

Отсюда следует, что наилучшая развивающаяся электрическая сеть представляет собой оптимальный динамический граф, нахождение которого связано с большими трудностями, обусловленными многоцелевым характером задачи, большой размерностью и дискретностью некоторых параметров сети, которые являются переменными и подлежат управлению. Поэтому процесс постановки и решение задач оптимизации сети целеустремленно упрощают.

Одним из таких упрощений есть представления статической задачи оптимизации сети как линейной задачи. Предположение о статическом характере задачи позволяет считать, что капитальные затраты происходят единовременно, а эксплуатационные затраты постоянные во времени. Линейная схема задачи означает, что целевая функция линеаризуется относительно управляемых переменных. Ограничения также представлены в виде линейных уравнений и неравенств. Преодоление дискретности задачи осуществляется на основе метода экономических интервалов, в результате использования которого осуществляется переход к непрерывным управляемым переменным – мощностям P_s , которые текут по отдельным линиям s [1].

Таким образом, решим статическую задачу оптимизации электрической сети методом линейного программирования.

Поиск наилучшей в смысле приведенных затрат конфигурации сети

Запишем выражение для целевой функции в виде

$$Z = \sum_{s=1}^n Z_s(P_s, \ell_s) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где Z – приведенные затраты для всей системы; $Z_s(P_s, \ell_s)$ – приведенные затраты на дуге s полного графа системы; P_s – мощность, которая протекает по s -й дуге; ℓ_s – длина s -й дуги; n – количество дуг полного графа; M – матрица соединений полного графа системы.

При решении задачи учитываем ограничения по первому закону Кирхгофа для всех узлов, кроме одного.

$$\begin{aligned} MP_s &= -P_e, \\ P_s &\neq 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где P_e – вектор мощностей в узлах e .

Линеаризованные приведенные затраты (тыс.грн./км) в дугах, которые идут от центра питания, определяются по формуле [1]

$$3_s = (1,15 + 0,008P_s) \ell_s,$$

а для дуг, которые соединяют узлы -

$$3_s = (1,01 + 0,01P_s) \ell_s.$$

В качестве примера рассмотрим граф электрической двухцепной сети 110кВ, приведенный на рис.1.

Запишем уравнения по первому закону Кирхгофа для рассматриваемого графа электрической системы

$$\begin{aligned} P_1 &= P_{01} - P_{12}, \\ P_2 &= P_{02} + P_{12} - P_{23}, \\ P_3 &= P_{03} + P_{23} + P_{34}, \\ P_4 &= P_{04} - P_{34} - P_{45}, \\ P_5 &= P_{05} + P_{45} - P_{56}, \\ P_6 &= P_{06} + P_{56} + P_{67}, \\ P_7 &= P_{07} - P_{67}. \end{aligned}$$

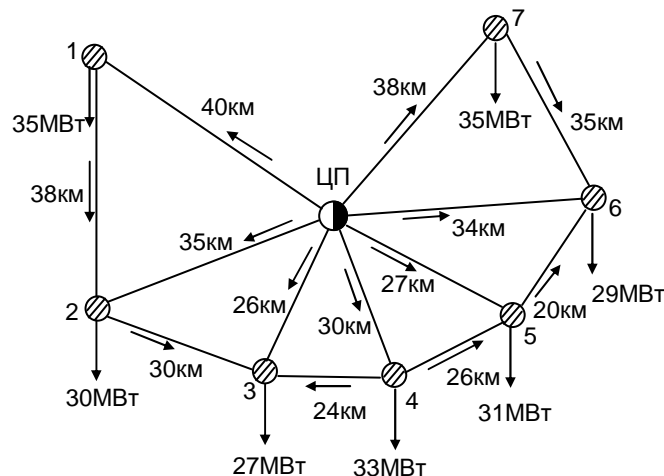


Рис. 1 – Полный граф электрической сети

После проведения оптимизации методом линейного программирования [2] был получен оптимальный статический граф системы, который изображен на рис. 2.

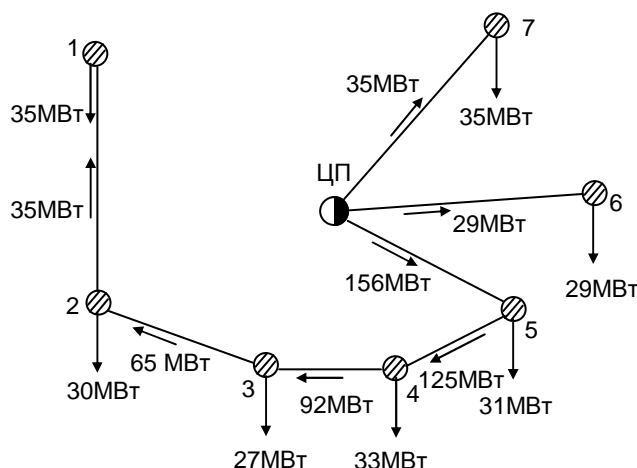


Рис. 2 – Оптимальный граф электрической сети

Анализ результатов оптимизации показал, что приведенные затраты для оптимального графа электрической сети на 18% меньше, чем для исходного графа. Однако анализ величины потоков мощности на головных участках показывает, что при номинальном значении напряжения 110 кВ расчетный ток превышает верхнюю границу интервала использования максимального сечения для данного напряжения. Возникает необходимость в повышении номинального напряжения, что противоречит условиям задачи. Кроме того, с точки зрения обеспечения надежности электроснабжения, полученный вариант сети не является приемлемым, так как разрыв цепи на участке ЦП-5 оставит без электроснабжения 5 узлов нагрузки из 7.

Очевидным является тот факт, что наложенные ограничения (1) не отражают в полной мере требования, предъявляемые к электрическим сетям. Дополнительные ограничения сформулируем на основании графика (рис. 3, а) экономически целесообразной области применения номинальных напряжений 220 и 110 кВ [3]. С этой целью аппроксимируем график, изображенный на рис. 3, а гиперболой вида

$$P = \frac{k}{\ell}.$$

Коэффициент k , определенный с помощью метода наименьших квадратов, составляет 4000 МВт · км.

Таким образом, дополнительные условия запишем в виде системы неравенств

$$P_s \cdot \ell_s \leq 4000. \quad (3)$$

В результате реализации алгоритма линейного программирования для схемы электрической сети представленной на рис.1. с учетом функции цели (1) и ограничений (2), (3) получен новый вариант оптимальной сети, который представлен на рис. 4.

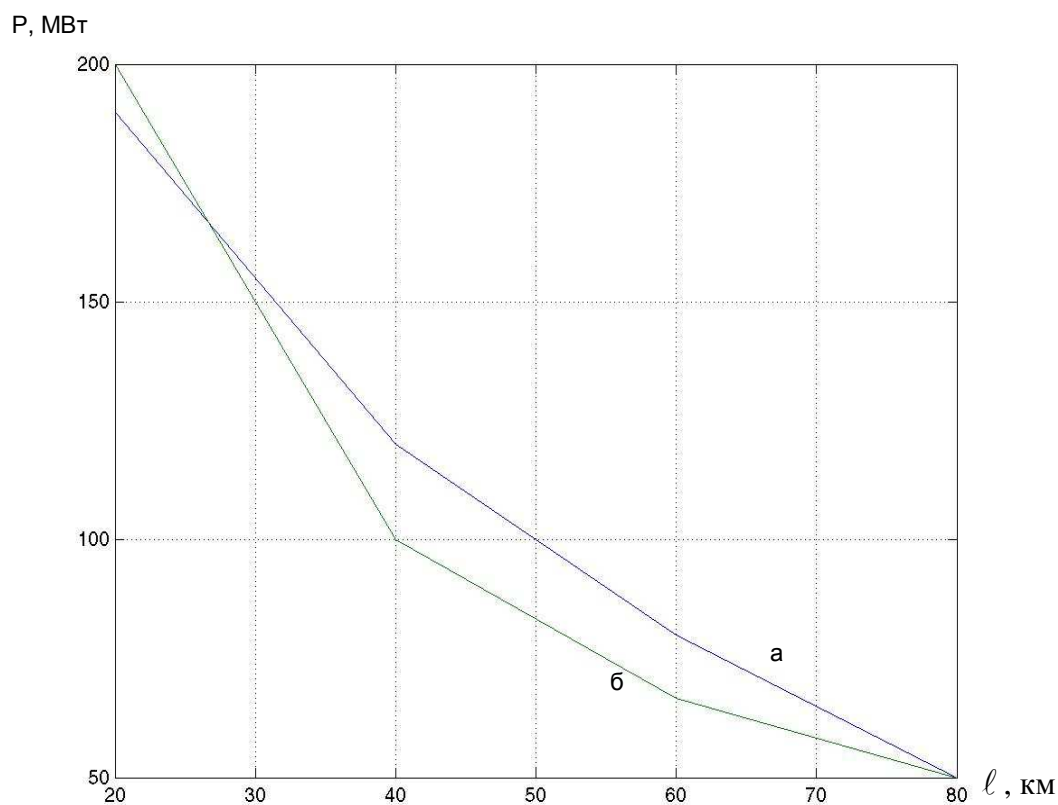


Рис. 3 – График экономически целесообразной области применения номинальных напряжений 220 и 110 кВ

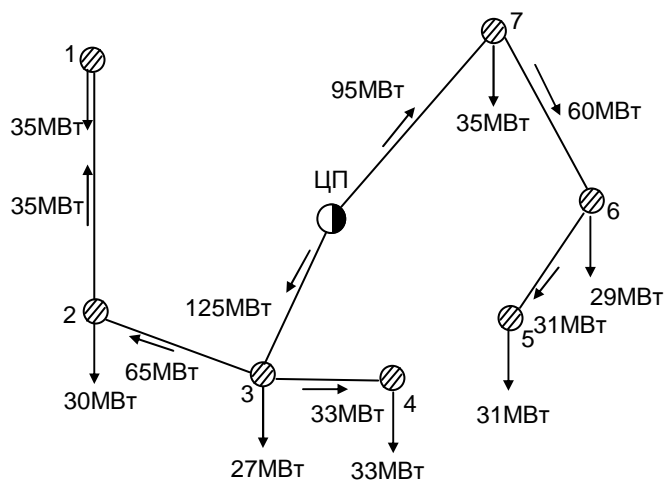


Рис. 4 – Оптимальный граф электрической сети с дополнительными ограничениями

Полученный оптимальный вариант сети позволяет уменьшить приведенные затраты по сравнению с базовым вариантом на 11%.

Выводы

Результаты проведенных исследований позволяют говорить о целесообразности использования метода линейного программирования для отыскания оптимального графа статической электрической сети. Применение этого метода значительно сокращает количество вариантов сети, которые могут быть подвергнуты технико-экономическому анализу, что особенно важно для сетей с большим количеством узлов нагрузки.

Формализация ограничений, которыми пользуются специалисты в процессе проектирования электрических сетей, и представление их в виде линейных уравнений и неравенств позволяет использовать опыт проектирования и эксплуатации электрических сетей. Несмотря на то, что введение дополнительных ограничений сокращает число вариантов сети и снижает возможную эффективность процесса оптимизации, это направление исследований следует считать перспективным, поскольку приближает математическую модель распределения потоков мощности в электрической сети к реальным физическим процессам.

Література

1. Аввакумов В.Г. Постановка и решение электроэнергетических задач исследования операций. – К.: Вища школа, 1983. – 240с.
2. Рожков П.П. Розв'язання задачі оптимізації статичного графу електричної мережі методом лінійного програмування / Програма і тези доповідей XXXIII науково-технічної конференції преподавателей, аспирантов и сотрудников Харьковской национальной академии городского хозяйства – Харків: ХНАМГ, 2006. Частина 2, - С. 107 – 108.
3. Идельчик В.И. Электрические системы и сети. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 592с.

ЛІНІЙНА МОДЕЛЬ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНФІГУРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

П.П. Рожков, Т.В. Полякова

У статті розглядається використання метода лінійного програмування для оптимізації статичного графу електричної мережі.

THE LINEAR MODEL OF OPTIMIZATION OF ELECTRIC MAINS CONFIGURATION

P.P. Rozhkov, T.V. Poljakova

The application of the method of linear programming for optimization static graph of electric mains is observed.